

## Анализ факторов, определяющих надежность эксплуатации гидравлического привода



Альмохаммад Альнайеф Мохаммад,  
Аспирант Сибирского федерального  
университета, г. Красноярск

Гнидан Елена Васильевна,  
Кандидат педагогических наук, ОГБОУ НПО  
Профессиональное училище № 31  
п. Чунский Иркутской области

E-mail: egnidan@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются факторы, определяющие надежность эксплуатации гидравлического привода, а также комплекс мероприятий, направленный на ее повышение, на этапах проектирования, производства и эксплуатации гидропривода.

**Ключевые слова:** гидравлический привод, надежность, климатические условия.

Современные гидрофицированные машины решают большое количество производственных задач, поэтому важно эксплуатировать гидравлический привод с максимальной отдачей, что возможно в условиях обеспечения его надежности. Вопросы эксплуатации и надежности гидропривода машин рассмотрены в работах, Т.М.Башты, Б.Г.Кима, В.Н.Лозовского, С.В.Каверзина, В.Ф.Ковалевского, В.К.Свешникова, В.А.Васильченко, О.А.Бардышева, Н.Г.Гаркави, Ю.А.Беленкова, Ю.В.Дмитревича, В.Н.Прокофьева и других ученых.

Под надежностью (по ГОСТ 27.002-89) понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надёжность в «широком» смысле - комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в

себя свойства безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости, а также определённое сочетание этих свойств.

Способность гидропривода выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения требует минимизации и устранения его недостатков, что необходимо учитывать как на этапе проектирования, так и в ходе производства гидроприводов и их непосредственной эксплуатации.

Для повышения надёжности **на этапе проектирования** необходимо:

- оптимизировать принципиальную гидравлическую схему в соответствии с требованиями технического задания. Для повышения эффективности гидропривода [1] предлагается использовать, гидроприводы работающие на принципе “чувствительный к нагрузке” (Load Sensing). В целом использование системы с управлением LS взамен обычной повышает динамику всех подвижных частей гидропривода, существенно увеличивает общий КПД системы, что ведет к снижению экономических затрат, ускоряет рабочий процесс. Особое внимание в таких системах уделено безопасности рабочего процесса;

- минимизировать количество гидрокомпонентов, входящих в состав изделия, поскольку минимальное количество гидроаппаратов, уплотнений, минимальная длина гидролиний повышают надёжность гидропривода;

- подобрать гидроаппараты с учётом величин нагрузок на исполнительные механизмы, максимальных скоростей и ускорений, требуемой точности отработки и линейности характеристики;

- предусмотреть защиту от перегрузки гидропривода, в том числе отдельных гидролиний и гидроаппаратов, с помощью предохранительных, переливных или других клапанов;

- разработать математическую модель гидропривода, с помощью которой можно проанализировать динамические свойства системы с учётом инерционных нагрузок, сжимаемости рабочей жидкости и нежёсткости механической передачи между гидравлическим исполнительным механизмом и нагрузкой. Следует определить условия, в которых могут возникнуть нежелательные резонансные явления [2].

**На этапе изготовления** важно обеспечить высокое качество изготовления, что возможно при соблюдении следующих условий:

- стабильности технологических процессов;

- оснащённости производства современным оборудованием, специальными приспособлениями и стендами;

- применения качественных материалов и комплектующих;

- использования современных методов контроля изготавливаемых деталей на предмет соответствия требованиям рабочих чертежей и технических условий;

- наличия испытательных стендов и методики для проверки отдельных уз-

лов и изделия в целом, оснащённых необходимыми приборами контроля выходных параметров.

**На этапе эксплуатации** проявляются основные недостатки гидропривода, которые фактически вызваны ее основой - применяемой рабочей жидкостью и ее особенностями:

- утечки рабочей жидкости через уплотнения и зазоры, особенно при высоких значениях давления;
- нагрев рабочей жидкости;
- необходимость обеспечения в процессе эксплуатации чистоты рабочей жидкости и защиты от проникновения в нее воздуха с частицами пыли;
- пожароопасность - в случае применения горючей рабочей жидкости.

Климатические условия являются одним из факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность и надежность работы гидрофицированных машин, эксплуатируемых на открытом воздухе. Это влияние сказывается в основном через состояние рабочей жидкости. Климат воздействует также на изменения зазоров в сопряженных элементах гидропривода, условия взаимодействия поверхностей трения, физико-механические свойства деталей, нагрузки на гидродвигателях [3].

Состояние рабочей жидкости в гидроприводах определяется ее вязкостью, содержанием механических примесей, газов и влаги, модулем упругости. Неблагоприятное влияние на данные параметры оказывает как повышенная, так и пониженная температура окружающей среды.

При отрицательных температурах вязкость рабочей жидкости повышается, что может вызвать во всасывающей магистрали кавитацию, являющуюся одним из основных нежелательных факторов, способствующих уменьшению ресурса гидронасоса, снижению надёжности гидропривода. Повышение температуры сверх оптимального значения снижает вязкость рабочей жидкости, уменьшает её смазочные свойства, увеличивает вероятность механического износа трущихся поверхностей.

К основным мероприятиям, повышающим надежность гидропривода путем минимизации воздействия климатических условий при эксплуатации гидроприводов можно отнести:

- применение рабочих жидкостей с показателями вязкости, соответствующими климатическим условиям;
- обязательное включение фильтров для удаления механических частиц с требуемой тонкостью фильтрации, как во время работы, так и при заправке гидросистемы свежей рабочей жидкостью;
- оптимизацию теплового режима рабочей жидкости;
- применение материалов повышенной прочности и износостойкости.

В соответствии с техническими условиями в мобильных машинах и промышленном оборудовании, эксплуатируемых на открытом воздухе и в помещении при температуре от +45 до – 40 °C, следует применять не более двух сортов рабочих жидкостей. Гидравлическое масло МГ-15В (ВМГ3 по ТУ 38-101479-00) предназначено для всесезонной эксплуатации мобильных машин и промышленного оборудования с гидроприводом в районах с холодным климатом (ХЛ). Применение этой рабочей жидкости предпочтительно с аксиально-поршневыми насосами и гидромоторами.

Гидравлическое масло МГЕ-46В (МГ-30 по ТУ 38-10150-79) предназначено для применения в гидроприводах мобильных машин и промышленных установок в качестве летнего сорта в районах умеренного климата и всесезонного сорта в южных районах в интервале изменения температур от –20 до +75°C в зависимости от типа применяемых насосов. Масло отличается хорошей смазывающей способностью, стойкостью против образования и отложения смолистых осадков, а также против вспенивания, хорошо защищает металлические поверхности от коррозии. Гидравлическое масло МГЕ-46В эксплуатируется всесезонно без замены в течение 3500...4000ч и позволяет заменить более 20 сортов масел, предназначенных для других целей [4, 5].

Исследованиями Т.М. Башты и его учеников показано, что уровень надежности гидропривода определяется уровнем концентрации механических примесей в рабочей жидкости. Климатические условия эксплуатации машин оказывают существенное влияние на уровень загрязнений. Так условия эксплуатации строительно-дорожных машин характеризуются переменными режимами работы, высокой запыленностью и колебаниями температуры окружающего воздуха, дорожных и грунтовых условий, что приводит к значительному уровню загрязнений рабочей жидкости и снижению надежности и эффективности их эксплуатации.

В современных гидросистемах мобильных машин применяются разные типы фильтров и используются различные фильтрующие материалы: металлическая сетка, бумага, стекловолокно, объемная синтетика и комбинации разных материалов, например, химически обработанный холст из волокна, пропитанный kleящим веществом:

- фильтры для высокого давления напорные, до 11...45 МПа, с расходом до 1000 л/мин, полнопоточного типа. В них используются в основном фильтрующие элементы из стекловолоконного материала с абсолютной тонкостью отсева 5...10 мкм и  $b \geq 75$ , способные выдержать перепады давления до 21,0 МПа;

- фильтры для среднего давления, например, всасывающие, с рабочим давлением около 7 МПа и фильтрующими элементами из бумаги с номинальной тонкостью отсева 10...25 мкм и  $b \geq 2$  либо из стекловолокна с тонкостью отсева

5...25 мкм и  $b \geq 75$ .

- фильтры сливные, устанавливаемые в бак с гидравлической жидкостью, рабочее давление до 1 МПа, перепускной клапан открывается при 0,15 МПа; фильтрующий элемент состоит из упрочняющей сетки с ячейками с тонкостью отсева 60...90 мкм и основного стекловолоконного фильтра с абсолютной тонкостью фильтрации 10...25 мкм и фильтровальной бумаги с тонкостью отсева 10...30 мкм [6].

Для предохранения гидравлических масел от загрязнений они должны доставляться с нефтебазы к месту эксплуатации машин без переливания из одной тары в другую. Гидросистемы машин необходимо заправлять гидравлическим маслом только через фильтр с тонкостью фильтрации 10...13 мкм с помощью заправочного агрегата, оборудованного насосом и фильтром тонкой очистки, позволяющим заполнять гидросистему маслом непосредственно из емкости.

В современных конструкциях мобильных машин предусмотрены заправочные устройства, исключающие загрязнение гидравлического масла: насос, фильтр и гибкий шланг с металлическим наконечником и защитным чехлом. Хорошие результаты дает заправка нефтепродуктами машин в условиях эксплуатации с помощью заправщиков, установленных на шасси грузовых автомобилей и снабженных несколькими емкостями для транспортировки нефтепродуктов и необходимым заправочным оборудованием [7].

В последние годы получает развитие направление повышения надежности гидропривода путем улучшения противоизносных свойств рабочей жидкости. Помимо введения в рабочую жидкость противоизносных присадок ее противоизносные свойства могут быть улучшены путем внешних воздействий (обработка гидродинамическим диспергатором, воздействием магнитных и электрических полей и др.) [8].

Применение материалов повышенной прочности и износостойкости минимизируют отрицательное воздействие климатических условий эксплуатации. Существуют термопластичные и гидролитиче- устойчивые полиуретановые эластомеры, модифицированные для использования при низких и высоких температурах. При высоких давлениях используется поршневое уплотнение, содержащее опорно-направляющее кольцо, изготовленное из феноло-альдегидного полимерного материала, а также специального уплотнения, содержащего фторопластовый динамический уплотнительный элемент и элемент из специальной резины и двух колец противовыдавливания, который повышает уплотнение [9].

Повысить надежность гидропривода самоходных машин можно путем оптимизации теплового режима рабочей жидкости. К основным факторам, определяющим тепловой режим относят:

- процессы дросселирования рабочей жидкости через зазоры, щели, вклю-

чая случаи дроссельного регулирования скорости;

- работа привода на предохранительный клапан;
- потери напора в гидролиниях и на местных сопротивлениях;
- механическое трение;
- потери на сжимаемость жидкости;
- потери энергии вследствие уменьшения сечений, повороты и изгибы гидролиний;
- тепловыделение в насосах, гидромоторах, распределительной и регулирующей аппаратуре, в фильтрах, в дросселях, в предохранительных и редукционных клапанах;
- частая работа гидропривода на предохранительный клапан, отсутствие разгрузки насоса при неработающих исполнительных органах;
- открытые поверхности гидропривода, поглощающие солнечную радиацию;
- температура окружающей среды;
- ДВС, отопители, подогреватели жидкости.

Учитывая влияние перечисленных факторов на температурный режим при конструировании гидропривода, можно добиться оптимизации теплового потока.

Гидравлический привод, эксплуатируемый в районах с температурой окружающего воздуха вне оптимального температурного диапазона, нуждается в проведении ряда мероприятий по повышению его эффективности и надежности. Если гидропривод должен работать в условиях отрицательных температур окружающего воздуха, то необходимо предусмотреть средства, облегчающие возможность запуска, то есть предусмотреть возможность предварительного подогрева рабочей жидкости. Чтобы исключить перегрев рабочей жидкости необходимо сократить потери мощности и при необходимости использовать соответствующие теплообменные устройства [10].

В работе [3] предложена классификация средств регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе. Эти средства условно разделены на две группы: по изменению условий естественного теплообмена и по виду технических средств искусственного регулирования теплообмена за счет введения в гидропривод теплообменного устройства. Причем наибольший эффект дает комплексное применение указанных средств.

Интенсивность охлаждения рабочей жидкости в гидросистеме можно регулировать естественной конвекцией [3, 11, 12]:

- увеличением вместимости гидробака;
- увеличением поверхности теплоотдачи;
- увеличением массы гидрооборудования;
- использованием специальных покрытий гидрооборудования с большим

коэффициентом теплоотдачи;

- применением масляных радиаторов;
- использованием принудительного обдува гидрооборудования;
- применением защитных экранов от влияния солнечных лучей и теплового излучения внешних источников.

Однако увеличение площади теплоотдачи гидрооборудования в два раза снижает установившуюся температуру только на 50%. Конструктивно же увеличить площадь теплоотдачи на 25-30% весьма не просто, так как связано с усложнением технологии изготовления, увеличением габаритов, массы и стоимости машины.

К средствам искусственного регулирования температуры рабочей жидкости можно отнести:

- применение регулируемых насосов и гидромоторов (например, за счет использования регулируемых аксиально-поршневых насосов);
- применение гидроаккумуляторов (за счет уменьшения установочной мощности привода и дросселирования масла на предохранительных клапанах);
- оптимизация разводки трубопроводов и размещения гидрооборудования;
- применение теплообменников в различных конструктивных исполнениях.

Для поддержки требуемых диапазонов рабочих температур с целью повышения надежности эксплуатации гидропривода возможно искусственное охлаждение рабочей жидкости с применением различных теплообменных устройств, дополнительно осуществляющих функции очистки жидкостей от различных вредных механических частиц. В частности, такими устройствами являются получающие все более широкое распространение фильтрационно-охладительные агрегаты, в составе которых помимо охладителя входят перекачивающий насос и гидравлический фильтр. Компактные малошумные кондиционеры способны при перепаде температур в  $35^0\text{C}$  рассеивать до 21 кВт мощности. Они могут комплектоваться фильтрами и/или тепловыми регуляторами,ключенными параллельно теплообменнику, и в зависимости от текущего значения температуры рабочей жидкости перепускать часть потока в бак, минуя теплообменник [12,13,14].

В новейших воздушных теплообменниках давление рабочей жидкости увеличено до 1...2 МПа, привод малошумного вентилятора реализован от электродвигателя постоянного или переменного тока, возможно — от гидромотора, теплорассеивающая способность превышает 100 кВт, широко применяются встроенные терmostаты. Теплообменники-охладители подразделяются на водяные, воздушные и компрессорные.

Теплообменники с водяным охлаждением имеют небольшие габариты, высокий тепловой КПД. Имеющиеся на рынке водяные теплообменники способны

рассеивать мощность от 0,7 до 500 кВт, отличаются компактностью, могут встраиваться в баки и оснащаться терmostатическими клапанами, регулирующими поток охлаждающей воды. В водяных теплообменниках пластинчатого типа надежно исключается опасность попадания воды в масло [12,14].

Наибольшее распространение получили теплообменники с воздушным охлаждением (масляные, калориферы). Их выполняют по типу автомобильных радиаторов или в виде труб, оребренных для увеличения поверхности теплопередачи. Для увеличения эффективности теплопередачи поверхность теплообменника обдувается воздухом от вентилятора.

В частности, одним из множества технических решений теплообменника для самоходных машин является многоходовой калорифер [15], включающий нагревательный элемент, коллекторы, боковые щитки с установленными на них входным и выходным патрубками, нижнюю емкость для охлаждающей жидкости и насос, отличающийся тем, что он дополнительно содержит вентилятор и распылитель охлаждающей жидкости, размещенный между вентилятором и нагревательным элементом и соединенный с нижней емкостью. Предлагаемое исполнение позволяет создавать устройства более интенсивного теплоотвода и делает возможным снижение температуры теплоносителя ниже температуры окружающей среды, что увеличивает эффективность калорифера и соответственно повышает надежность гидропривода при работе в условиях повышенных температур.

В обеспечении надежности и долговечности гидроприводов необходимо тщательно и своевременно выполнять работы по техническому обслуживанию и ремонту гидроагрегатов, так как правильный монтаж, соблюдение условий и правил технической эксплуатации плюс своевременное проведение профилактических работ являются гарантией того, что гидравлическое оборудование будет функционировать с максимальной эффективностью.

Из всех факторов, определяющих надежность эксплуатации гидравлического привода самоходных машин, наибольшее влияние оказывают климатические условия, и в частности температура окружающей среды. Ее изменение, воздействуя на состояние рабочей жидкости, зазоры и натяги в соединениях и физико-механические свойства материалов, приводит к ухудшению состояния гидрооборудования.

Таким образом, ключевыми моментами к решению вопроса надежности гидропривода и минимизации эксплуатационных затрат является защита от перегрузок, в.т.ч. динамических, соблюдение необходимого значения вязкости и требуемой чистоты гидрожидкости, что становится возможным при наличии дополнительного оборудования, обеспечивающего как охлаждение рабочей жидкости и ее предварительный прогрев, так и очистку.

### Литература:

1. Что нужно для нормальной эксплуатации гидропривода [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://studyport.ru/tehnika/chto-nuzhno-dlya-normalnoy-ekspluatatsii-gidroprivoda>
2. Каверзин С. В. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах / С. В. Каверзин, Е. А. Сорокин, В. П. Лебедев. – Красноярск, 1998. – 240 с.
3. Выбор и применение рабочей жидкости для мобильных машин с гидроприводом [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://www.nnovgorod.teleweek.ruwww.ti-nn.ru/?id=11032>
4. Стрельцов В.В., Бугаев А.В. Перспективы использования в технике масел распределительного происхождения // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. - №2. – 2010.
5. Абдушев Д. Фильтры гидравлической жидкости. Современные фильтры для тяжелой техники [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://www.os1.ru/>
6. Дмитревич Ю.В. Основные пути повышения надежности гидропривода [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://www.tradicia-k.ru/articles/>
7. Анализ гидропривода современных строительно-дорожных машин [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://www.hydront.ru/index.php?id=92>
8. Свешников В.К. Основные тенденции развития мирового гидрооборудования // Журнал РИТМ. – 2009. - №7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа. - URL: <http://www.ritm-magazine.ru/>
9. Каверзин С. В. Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу самоходных машин: Учебное пособие / С. В. Каверзин. – Красноярск: ПИК “Офсет”, 1997. – 384 с.
10. Каверзин С.В. Повышение работоспособности гидрофицированных машин, эксплуатируемых в районах Сибири и Крайнего Севера // проблемы развития строительной и дорожной техники для работы в условиях Сибири и Севера. М., 1981. С. 155-157.
11. Каверзин С.В. Методы повышения работоспособности и эффективности гидропривода самоходных машин // Вестник КГТУ, Вып. 1 Красноярск, 1996. С. 16-19.
12. Зачем надо знать недостатки гидроприводов [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://www.12821-80.ru/stat/ext.php?id=4541>
13. Вспомогательные устройства гидросистем [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <http://gidravl.narod.ru/vspomystr.html>
14. Сорокин Е.А., Мохаммад А.А, Колосов В.В., Мандраков Е.А. Многоходовой калорифер: патент на полезную модель. 2013.RU 135089.